

PERAN PENGUAT PARTIKEL ALUMINA DAN SILIKON KARBIDA TERHADAP KEKERASAN MATERIAL KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM

Hendri Sukma^{1*}, Rini Prasetyani², Dwi Rahmalina³, Rizal Imanuddin⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Pancasila Jakarta,
Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

*sukmahendri@yahoo.com

ABSTRAK

Komposit matriks aluminium berpenguat partikulat banyak dikembangkan untuk aplikasi komponen otomotif dan kendaraan taktis militer, karena mempunyai berat jenis yang lebih ringan dibanding logam *ferrous* serta memiliki performa yang baik seperti kekuatan tinggi, kekerasan tinggi, sifat tahan aus dan koefisien ekspansi panas rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan material komposit matriks aluminium berpenguat alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC) yang memiliki sifat mekanis yang paling baik. Komposit dibuat dari matriks Al-3Si-9Zn-6Mg berpenguat partikel alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC), dengan variasi fraksi volume alumina 10% tanpa tambahan SiC, serta dengan penambahan SiC 5% dan 10%. Proses pengecoran dilakukan dengan metode *squeeze casting*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit dengan penguat alumina tanpa silikon karbida memiliki kekerasan yang paling tinggi yaitu rata-rata sebesar 60,28 HRB, dengan harga impak 0.0383 J/mm². Dengan penambahan silikon karbida 5 % didapat nilai kekerasan yang lebih rendah yaitu 43 HRB dengan harga impak tetap 0.0383 J/mm², serta untuk penambahan silikon karbida 10% didapat nilai kekerasan 41,8 HRB dengan harga impak 0.0638 J/mm².

Tidak terjadinya peningkatan kekerasan material komposit alumina dengan penambahan penguat silikon karbida ini disebabkan karena ketidaksempurnaan dalam proses peleburan dan pengecoran, dimana partikel silikon karbida sangat sulit bercampur secara merata dengan aluminium dan alumina. serta timbulnya cacat porositas (*void*) akibat dari masih terdapatnya udara yang terperangkap di dalam material coran yang tidak sepenuhnya terbuang pada saat proses *degassing*. Dari analisa struktur mikro terlihat partikel SiC tidak tersebar secara merata dan cenderung untuk mengumpul di satu tempat.

Kata kunci : komposit, aluminium, alumina, silikon karbida, sifat mekanik.

ABSTRACT

Aluminium matrix composites reinforced with particulate have been developed extensively for automotive components and military vehicles, because of lightweight compared to ferrous also good properties such as high strength and hardness, wear-resistant properties and low coefficient of thermal expansion.

This research aims to produce aluminium matrix composite reinforced with alumina (Al_2O_3) and silicon carbide (SiC) with good mechanical properties. The composites are consist of Al-3Si-9Zn-6Mg as matrix and reinforced with particle of Al_2O_3 and SiC , with 10 % volume fraction of Al_2O_3 without SiC also with variation of SiC of 5% and 10% volume fraction. Casting process conducted by the squeeze casting method.

The results indicate that the composite reinforced with Al_2O_3 excluding SiC has the highest hardness of 60.28 HRB and impact strength of 0.0383 J/mm². Adding with 5% volume fraction of SiC will decreased the hardness and impact strength with value of 43 HRB and 0.0383 J/mm², which is similar for the addition of 10% SiC with hardness of 41.8 HRB and impact strength of 0.0638 J/mm².

The addition of SiC did not amplify the hardness of composites due to the difficulty in casting process, which is very hard to mixture SiC particles in matrix and Al_2O_3 particles. Furthermore the as-cast composites revealed the occurrence of porosity as a result of the presence of air trapped although

after degassing process. The microstructure showed that SiC particles were not distributed equally and the particles tend to agglomerate.

Keywords: *composite, aluminium, alumina, silicon carbide, mechanical properties.*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri transportasi di Indonesia mengalami perkembangan yang cukup signifikan, baik dari segi pertumbuhan produksi maupun peningkatan teknologi. Akan tetapi para pelaku industri masih mengalami beberapa kendala diantaranya adalah belum seluruhnya industri pendukung seperti bahan baku dan komponen dibuat di dalam negeri. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan material bahan baku komponen yang dapat diproduksi secara mandiri di dalam negeri. Material tersebut harus memiliki persyaratan yang memadai seperti kualitas yang baik, biaya produksi yang lebih murah, serta material yang lebih ringan agar penggunaan bahan bakar lebih efisien. Penggunaan material baja pada beberapa komponen tertentu sudah tidak efisien lagi, mengingat bobot material baja yang relatif berat. Penurunan berat kendaraan dapat dilakukan melalui beberapa alternatif, seperti (1) perubahan rancang bangun, atau (2) pengembangan material.

Dengan berkembangnya teknologi material persyaratan untuk beberapa komponen ini dapat dipenuhi melalui penggunaan material komposit matriks aluminium. Penggunaan komposit matriks aluminium pada komponen otomotif dan kendaraan taktis militer, akan mampu mengurangi bobot komponen serta memiliki kekuatan yang baik, sehingga performa produk kendaraan tersebut menjadi lebih baik dan hemat bahan bakar.

Komposit matriks aluminium juga memiliki densitas yang rendah, tahan korosi serta mempunyai elastisitas yang lebih baik. Selain itu, komposit matriks aluminium memiliki sifat *tailorability*, sehingga sifat mekanis yang diinginkan dapat dimodifikasi tergantung dari kombinasi matriks, penguat serta kondisi pada daerah antar mukanya [1,2]. Keunggulan ini yang menjadi dasar para peneliti untuk mengembangkan komposit matriks aluminium sebagai alternatif pengganti material konvensional.

Proses manufaktur komposit menjadi suatu faktor penting yang menentukan karakteristik komposit. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan proses pengecoran khusus, yaitu dengan teknologi *squeeze casting*. Proses *squeeze casting* merupakan teknik pengecoran khusus yang menggabungkan keunggulan dari *High Pressure Die Casting* dan teknologi *forging* [3]. Keunggulan yang dihasilkan adalah mengeliminasi jumlah gas yang terperangkap dalam hasil cor dan mengurangi jumlah penyusutan akibat solidifikasi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperoleh komposit dengan karakteristik yang baik melalui proses *squeeze casting*. Vijarayam, et.al [3] telah melakukan penelitian mengenai fabrikasi komposit matriks logam yang diperkuat dengan serat menggunakan *squeeze casting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini mempunyai keuntungan antara lain mengeliminir porositas dan *shrinkage*, dengan *yield casting* 100 %, permukaan dan akurasi dimensi yang baik, peningkatan kekerasan dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Dieringa, et.al [4] juga menunjukkan hasil coran dengan kualitas yang baik dengan porositas hanya 0.5 % pada pembuatan komposit matriks logam magnesium dengan penguat serat karbon melalui proses *squeeze casting*.

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil dikembangkan proses manufaktur komposit berpenguat partikel alumina untuk menghasilkan komposit dalam bentuk pelat [5], dengan matrik aluminium Al-Si-Zn-Mg berpenguat 5 % fraksi volume alumina. Dari penelitian tersebut didapat hasil kekerasan maksimum sebesar 86 HRB pada Zn 9 wt%. Teknologi yang digunakan pada penelitian tersebut masih memiliki beberapa kelemahan dari hal kestabilan temperatur pada saat pemberian tekanan dan pemberian gaya tekan, sehingga masih membutuhkan pengembangan dari modifikasi dan desain cetakan dan pemberian *heater* pada cetakan. Disamping itu,

kondisi cetakan sangat tergantung dari bentuk dan dimensi produk cor yang akan dihasilkan.

Penelitian yang diajukan dalam skema Hibah Penelitian di Fakultas Teknik Universitas Pancasila (FTUP) ini memfokuskan pada pengembangan proses manufaktur komposit matriks aluminium berpenguat partikel alumina atau silikon karbida melalui teknologi *squeeze casting*. Paduan untuk matriks yang digunakan adalah Al-Si dengan penambahan unsur paduan Zn dan Mg, dengan banyaknya unsur paduan yang ditambahkan berdasarkan penelitian sebelumnya [6,7]. Komposit diperkuat dengan partikel alumina dan silikon karbida dengan fraksi volume alumina 10% tanpa tambahan SiC, alumina 10% + SiC 5% dan alumina 10% + SiC 10%.

Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh fraksi volume alumina dan silikon karbida yang dapat memberikan nilai sifat mekanis yang paling baik. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkuat sistem inovasi nasional di bidang rekayasa material yang dapat diaplikasikan dalam bidang otomotif dan produk industri lainnya.

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan teknologi manufaktur komposit matriks aluminium berpenguat alumina dan silikon karbida melalui teknologi *squeeze casting* untuk aplikasi komponen otomotif dan kendaraan taktis militer.
2. Mengetahui hubungan antara fraksi volume partikel penguat dengan kekerasan dan ketangguhan komposit.
3. Menganalisis struktur mikro hasil pengecoran *squeeze casting* pada komponen plat.

Penerapan Hasil Kegiatan

Penelitian ini penting untuk dilakukan karena memberikan beberapa manfaat yaitu: dalam jangka panjang diharapkan dapat membuka peluang pengembangan material untuk komponen otomotif dan kendaraan tempur secara mandiri; untuk meningkatkan daya saing bangsa; serta mengembangkan teknologi manufaktur yang sesuai untuk menghasilkan komposit matriks aluminium.

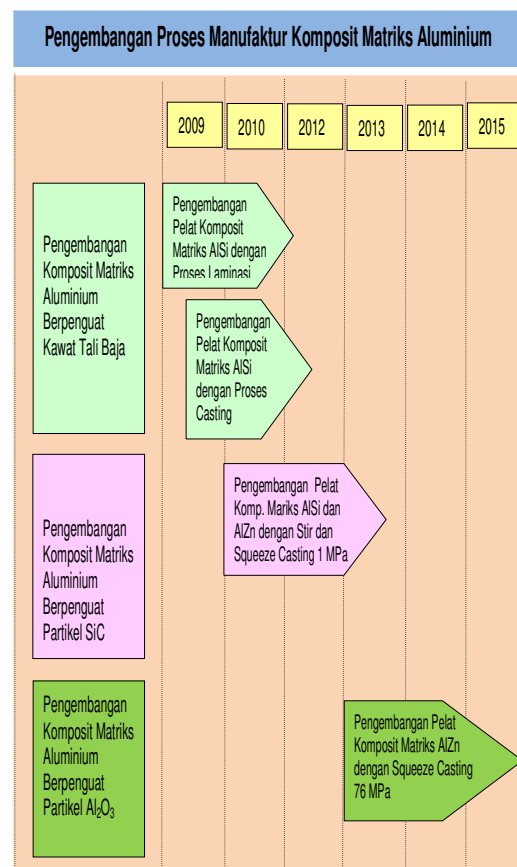
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat sistem inovasi nasional di bidang industri manufaktur. Disamping itu aluminium merupakan logam yang telah diproduksi secara mandiri di Indonesia, sehingga pengembangannya akan dapat memberdayakan industri dalam negeri.

Luaran yang Ditargetkan

Luaran dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai fraksi volume partikel penguat alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC) yang menghasilkan nilai kekerasan komposit paling tinggi.

STUDI PUSTAKA

Pengembangan komposit matriks aluminium telah dilakukan oleh Rahmalina, *et.al* dari tahun 2009 dengan beberapa jenis teknologi manufaktur, seperti ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta jalan penelitian pengembangan proses manufaktur komposit matriks aluminium.

Dari penelitian sebelumnya telah dilakukan pula penelitian yang mengembangkan komposit matriks aluminium

berpenguat kawat tali baja hasil laminasi. Telah pula dikembangkan komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja dengan variasi unsur paduan Mg dan Cu melalui proses *squeeze casting*. Pengembangan selanjutnya yang telah berhasil dilakukan adalah perolehan panel komposit matriks aluminium dengan matriks Al-Zn-Mg berpenguat 20 % silikon karbida yang mempunyai kekerasan dan ketangguhan yang baik. Tetapi panel ini masih mempunyai ketebalan yang cukup besar, yaitu 45 mm. Untuk memudahkan proses fabrikasi, maka selanjutnya dikembangkan komposit matriks aluminium berpenguat alumina melalui proses *squeeze casting* dengan tekanan sebesar 20 Ton yang dilakukan pada temperatur semi solid. Pada tahap ini kestabilan temperatur ternyata sulit untuk dilakukan, demikian pula pemanasan cetakan.

Pendekatan Teoritik

Metode *squeeze casting* adalah suatu proses dimana logam cair didinginkan dengan diberikan tekanan, umumnya proses ini mengkombinasikan keuntungan proses penempaan dan pengecoran. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Souissi *et al* [8], metode *squeeze casting* dapat mengurangi porositas akibat pemberian tekanan selama proses pembekuan, selain itu metode *squeeze casting* juga dapat menambah kekerasan paduan aluminium. Selain untuk manufaktur paduan aluminium, proses ini juga telah dikembangkan untuk membuat komposit berbasis matriks aluminium dengan hasil yang memuaskan [9].

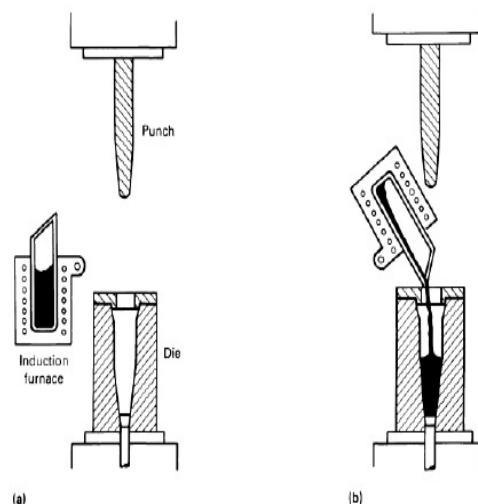
Pada penelitian ini digunakan metode *squeeze casting* untuk membuat komposit. *Squeeze casting* atau dikenal sebagai pembentukan logam cair (*liquid metal forging*) yaitu sebuah proses logam cair membeku dibawah tekanan dengan cetakan tertutup yang diposisikan antara pelat pada cetakan hidrolik. Tekanan yang diberikan dan kontak instan antara logam cair dengan permukaan menciptakan kondisi transfer panas yang cepat menghasilkan hasil pengecoran dengan butir halus yang bebas porositas dengan sifat mekanik yang mendekati hasil dari proses tempa [9].

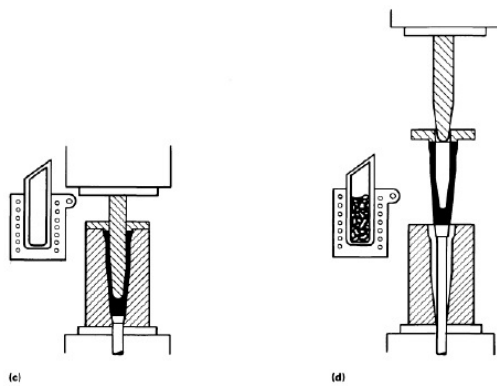
Pada Gambar 2 dapat dilihat ilustrasi mekanisme proses *squeeze casting*. Lelehan logam dimasukkan ke cetakan lalu dari atas

dilakukan penutupan cetakan dengan menggunakan tekanan. Parameter utama yang berpengaruh pada struktur mikro hasil *squeeze casting* adalah kelebihan panas lelehan, temperatur pemanasan cetakan, level tekanan yang diberikan, dan waktu jeda antara penuangan lelehan ke cetakan dan pemberian tekanan [9]. Tekanan yang diberikan dapat mencegah terjadinya porositas penyusutan dan porositas gas. Pemberian tekanan tinggi cukup untuk menekan terjadinya porositas gas kecuali untuk kasus yang ekstrim, dimana dibutuhkan perlakuan *degassing* standar. Tekanan yang biasa diaplikasikan dari 50-140 MPa, namun paling sering digunakan adalah pada 70 MPa [9].

Saat ini, paduan aluminium berkekuatan tinggi merupakan paduan logam armor yang sangat menjanjikan, tidak hanya ketahanan terhadap dampak balistik tetapi juga terkait dengan berat jenisnya yang rendah. Walaupun demikian, informasi eksperimental dan komputasional masih sangat terbatas dan memerlukan pembahasan lebih lanjut.

Untuk aplikasi material tahan peluru yang ringan, diperlukan sifat kekerasan dan ketangguhan dampak balistik yang tinggi sehingga peluru dapat ditahan dan diperangkap oleh material.





Gambar 2. Ilustrasi skematis dari proses *squeeze casting* [9].

Komposit matriks aluminium sebagai salah satu material armor yang ringan dengan ketahanan balistik yang sangat menjanjikan, dapat ditingkatkan kekerasannya dengan unsur paduan seperti Zn, Mg, Cu dan Si [10,11]. Penambahan unsur ini selanjutnya akan menghasilkan fasa endapan dalam matriks aluminium melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) yaitu pengerasan pengendapan. Peningkatan sifat mekanis dilakukan dengan proses pengerasan pengendapan [12]. Fasa endapan yang terbentuk akan meningkatkan kekerasan dan ketangguhan matriks akibat mekanisme *precipitation hardening*. Peningkatan kekerasan pada permukaan dilakukan oleh Peneliti Utama dengan memberikan lapisan dengan kekerasan yang tinggi melalui proses *thermal spraying* dengan variasi tebal lapisan.

Pengembangan dilakukan oleh banyak pihak, misalnya sebuah paten laminat armor dengan lapisan aluminium dengan kekerasan HRC 27, dikombinasi dengan serat tekstil [13]. Lapisan aluminium berpenguat kawat baja dan keramik dipatenkan pada tahun 1981 [14].

Paduan aluminium yang banyak dipakai untuk aplikasi balistik adalah 5083 dan 7075, baik melalui pemrosesan *cryomilling* yang menghasilkan struktur nano [15-16], maupun pelat berporforasi yang kinerjanya tergantung pada ekspansi termal, besar deformasi, kekuatan impact balistik dan kecepatan dari tembakan [14]. Juga telah diamati mekanisme dan parameter yang mempengaruhi kerusakan balistik akibat tembakan peluru 7.62 mm APM2 pada pelat aluminium armor 5083-H116 dengan satu hingga tiga lapisan [16]. Paduan aluminium

7039 mampu menahan proyektil berat jenis rendah dengan kecepatan 2100 m/s [17].

Pengaruh ketebalan panel komposit terhadap perilaku kerusakan impact dari alumina/aluminium armor telah diteliti oleh Zuogang, *et.al* [18]. Pengujian dilakukan dengan menembakkan peluru berkecepatan 500-1500 m/s mengenai panel alumina dengan pelat paduan aluminium 2A12 dibagian belakang. Hasil riset menunjukkan bahwa dengan meningkatnya ketebalan pelat aluminium akan meningkatkan tegangan yang ditransmisikan dan menurunkan tegangan yang direfleksikan, sementara variasi ketebalan dari alumina mempunyai pengaruh yang kecil terhadap perilaku tegangan yang terjadi.

Penelitian lain yang dilakukan US Army menunjukkan bahwa paduan aluminium tahan peluru struktur mempunyai ketahanan impact yang tinggi terhadap proyektil berkecepatan tinggi diatas 2000 m/s. Sorensen, *et.al* [19] telah melakukan riset mengenai karakteristik impact berkecepatan tinggi 2100 m/s menggunakan proyektil berat jenis rendah pada pelat aluminium 7039.

Untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium, dilakukan penambahan penguat dari berbagai jenis material sehingga diperoleh material komposit matriks aluminium tahan peluru. Rahmalina, *et.al* [19] telah mengembangkan komposit matriks aluminium Al-7Si dengan penambahan unsur paduan Mg dan Cu serta berpenguat kawat tali baja karbon tinggi, yang mampu menahan penetrasi peluru kaliber 0.38 sp dan 9 mm.

Jenis unsur paduan pada matriks aluminium yang digunakan dapat mempengaruhi kinerja balistik dari komposit matriks aluminium. Penelitian yang dilakukan Rahmalina, *et.al* [20] menunjukkan bahwa komposit matriks aluminium berpenguat silikon karbida dengan penambahan unsur paduan Zn sampai dengan 5 wt. % mempunyai kemampuan untuk menahan penetrasi peluru kaliber 9 mm. Faktor lain yang secara signifikan mempengaruhi karakteristik balistik dari komposit matriks aluminium adalah fraksi volum dari penguat komposit. Rahmalina, *et.al* [21] menunjukkan bahwa penambahan fraksi volum partikel silikon karbida dari 5 sampai 10 % mampu menahan laju penetrasi peluru berkaliber 9 mm.

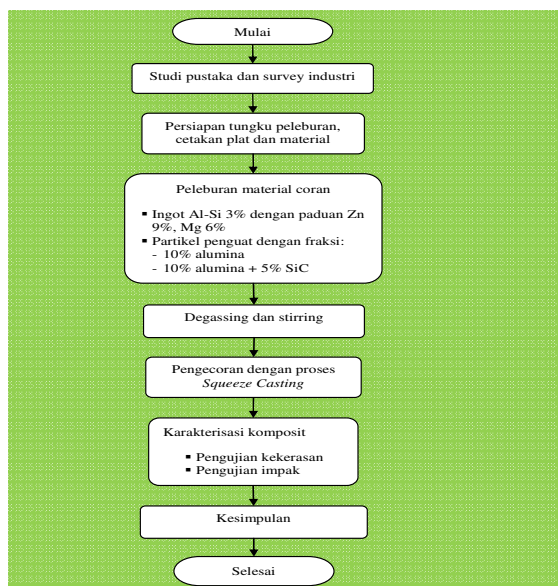
Pengembangan selanjutnya yang telah berhasil dilakukan adalah perolehan panel

komposit matriks aluminium dengan matriks Al-Zn-Mg berpenguat 20 % silikon karbida yang mampu menahan uji balistik dengan peluru kaliber 7.62 mm. Tetapi panel ini masih mempunyai ketebalan yang cukup besar, yaitu 45 mm.

Untuk memudahkan proses fabrikasi pada aplikasinya sebagai material armor, maka selanjutnya dari riset ini akan dikembangkan komposit matriks aluminium berpenguat alumina melalui proses *squeeze casting*, dan dilakukan peningkatan kekerasan melalui pengerasan pengendapan dan pengerasan permukaan (*surface hardening*).

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai pengembangan komposit matriks aluminium berpenguat alumina dengan karakteristik mekanik yang baik, maka riset dirancang mengikuti diagram alir seperti terlihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Material awal yang digunakan adalah ingot Aluminium dengan kandungan unsur paduan Si 3% wt, kemudian ditambahkan unsur paduan Zn 9 % wt, Mg 6% wt (ditulis Al-3Si-9Zn-6Mg). Bahan sebagai penguat komposit adalah alumina serbuk berukuran 10 μ m dan partikel SiC, dengan variasi fraksi volume alumina 10% tanpa tambahan SiC, alumina 10% + SiC 5% dan alumina 10% + SiC 10%.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada riset ini adalah :

1. Studi pustaka dan survey ke industri pengecoran aluminium dan komposit.
2. Persiapan tungku peleburan, cetakan plat dan material bahan baku coran.
3. Proses pembuatan aluminium matriks komposit dengan penguat alumina dan silikon karbida dengan optimasi jumlah fraksi penguat, dengan tahapan sebagai berikut:
 - Proses peleburan paduan aluminium dan partikel penguat alumina dan silikon karbida dilakukan dalam dapur lebur listrik dengan temperatur lebur 850°C.
 - Proses pengecoran dengan metode *squeeze casting* dilakukan untuk menghasilkan komposit matriks aluminium berpenguat partikel alumina dan silikon karbida dengan penekanan 20 kg/cm².
4. Karakterisasi aluminium matriks komposit dengan penguat alumina dan silikon karbida;
 - Pengujian sifat mekanis, berupa pengujian kekerasan dan pengujian dampak.
 - Pengujian analisis struktur mikro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh karakteristik mekanis yang diinginkan, proses manufaktur komposit matriks aluminium berpenguat alumina (Al₂O₃) dan silikon karbida (SiC) perlu dikembangkan sehingga diperoleh parameter-parameter proses yang optimal. Pengembangan proses yang dilakukan adalah pengembangan proses pencampuran partikel alumina dan SiC dengan matriks paduan aluminium melalui proses *stirring* dan pengembangan proses pengecoran dengan menggunakan teknologi *squeeze casting*.

Proses Peleburan dan Pengecoran

Material yang digunakan adalah Aluminium dengan paduan Si 3%, kemudian ditambah dengan unsur paduan Zn 9 % wt, Mg 6% wt, alumina (Al₂O₃) dan silikon karbida (SiC).

Bahan baku seperti terlihat di atas, selanjutnya ditimbang sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan dan disesuaikan

dengan kapasitas atau volume tungku peleburan. Proses perhitungan bermula dari perhitungan volume cetakan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dari volume dan berat komposit matriks aluminium. Berikut adalah perhitungan untuk komposit matriks aluminium berpenguat alumina dan silikon karbida.

Volume Cetakan

Cetakan berbentuk plat dengan ukuran cavity: panjang = 250 mm, tinggi = 150 mm, tebal = 22 mm (Gambar 5).

$$\begin{aligned}\text{Volume cetakan} &= p \times l \times t \\ &= 250 \times 150 \times 22 \\ &= 825.000 \text{ mm}^3 \\ &= 0,825 \times 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume Komposit Matrik Aluminium

Untuk mendapatkan volume yang tepat pada komposit matriks aluminium, maka volume cetakan di tambah dengan toleransi penyusutan sebesar 20%. Maka volume komposit matriks Aluminium adalah :

$$\begin{aligned}V_{\text{komposit}} &= \text{volume cetakan} + 20\% \text{ toleransi} \\ \text{Maka : } V &= 0,825 \cdot 10^{-3} + 20\% \text{ toleransi} \\ &= 0,825 \cdot 10^{-3} + 0,165 \\ &= 0,99 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Fraksi volume penguat dalam komposit ditetapkan 10% alumina, 10% alumina + 5% SiC, dan 10% alumina + 10% SiC, sehingga volume aluminium ditentukan sebesar 90%, 85%, dan 80%

Volume Aluminium 90%, 85% dan 80%

- $V_{\text{Al}} = 90\% \times \text{volume komposit matriks aluminium}$
 $= 90\% \times 0,99 \cdot 10^{-3} = 0,891 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- $V_{\text{Al}} = 85\% \times \text{volume komposit matriks aluminium}$
 $= 85\% \times 0,99 \cdot 10^{-3} = 0,84 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- $V_{\text{Al}} = 80\% \times \text{volume komposit matriks aluminium}$
 $= 80\% \times 0,99 \cdot 10^{-3} = 0,792 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Volume Alumina

- $V_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 10\% \times \text{volume komposit}$
 $= 10\% \times 0,99 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,099 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- $V_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 10\% \times \text{volume komposit}$
 $= 10\% \times 0,99 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,099 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- $V_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 10\% \times \text{volume komposit}$

$$\begin{aligned}&= 10\% \times 0,99 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,099 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume Silikon karbida (SiC)

- $V_{\text{SiC}} = 5\% \times \text{komposit matrik aluminium}$
 $= 5\% \times 0,99 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,0495 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- $V_{\text{SiC}} = 10\% \times \text{komposit matrik aluminium}$
 $= 10\% \times 0,99 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,099 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Berat Material Yang Dibutuhkan

Berat material aluminium dapat ditentukan menggunakan persamaan berat jenis:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Maka berat material : $m = \rho \times v$

dimana : ρ = masa jenis

v = volume jenis

m = masa

Berat Aluminium (Al)

- $m_1 = 2700 \text{ kg/m}^3 \times 0,891 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
 $= 2,405 \text{ kg}$
- $m_2 = 2700 \text{ kg/m}^3 \times 0,84 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
 $= 2,268 \text{ kg}$
- $m_3 = 2700 \text{ kg/m}^3 \times 0,792 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
 $= 2,138 \text{ kg}$

Berat Alumina (Al₂O₃)

- $m_1 = 3980 \text{ kg/m}^3 \times 0,099 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,394 \text{ kg}$
- $m_2 = 3980 \text{ kg/m}^3 \times 0,099 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,394 \text{ kg}$
- $m_3 = 3980 \text{ kg/m}^3 \times 0,099 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,394 \text{ kg}$

Berat Silikon Karbida (SiC)

- $m_1 = 2900 \text{ kg/m}^3 \times 0,0495 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,143 \text{ kg}$
- $m_2 = 2900 \text{ kg/m}^3 \times 0,099 \cdot 10^{-3}$
 $= 0,394 \text{ kg}$

Berat Total material yang akan digunakan :

- Aluminium = 2,405 kg + 2,268 kg + 2,138 kg = 6,6465 kg
- Alumina = 0,394 kg + 0,394 kg + 0,394 kg = 1,182 kg
- Silikon karbida = 0,143 Kg + 0,394 kg = 0,537 kg

Persentase Unsur Paduan Pada Matriks Aluminium

Matriks aluminium berbahan Al-9Zn-6Mg-3Si dimana fraksi volume Aluminium yang digunakan adalah 90, 85 dan 80%.

1. Unsur paduan pada volume matriks 90%
 - a. Zinc / Seng (9 wt%)
 $m_{Zn(9\%)} = 9\% \times m_{\text{Matriks Al}}$
 $= 9\% \times 2,405 \text{ kg} = 0,216 \text{ kg}$
 - b. Magnesium (6 wt%)
 $= 6\% \times 2,405 \text{ kg} = 0,1443 \text{ kg}$
 - c. Silikon (3 wt%)
 $= 3\% \times 2,405 = 0,0721 \text{ kg}$
2. Unsur paduan pada volume matriks 85%
 - a. Zinc / Seng (9 wt%)
 $= 9\% \times 2,268 \text{ kg} = 0,204 \text{ kg}$
 - b. Magnesium (6 wt%)
 $= 6\% \times 2,268 \text{ kg} = 0,136 \text{ kg}$
 - c. Silikon (3 wt%)
 $= 3\% \times 2,268 \text{ kg} = 0,068 \text{ kg}$
3. Unsur paduan pada volume matriks 80%
 - a. Zinc / Seng (9 wt%)
 $= 9\% \times 2,138 \text{ kg} = 0,192 \text{ kg}$
 - b. Magnesium (6 wt%)
 $= 6\% \times 2,138 \text{ kg} = 0,1282 \text{ kg}$
 - c. Silikon (3 wt%)
 $= 3\% \times 2,138 \text{ kg} = 0,064 \text{ kg}$

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan untuk proses peleburan sampai dengan proses pengecoran, diantaranya adalah dapur peleburan, pemanas alumina dan silikon karbida, cetakan, pemanas cetakan, penekan hidrolik, kompresor pengaduk (*stir casting*), pemanas oksigen-asetelin (lihat Gambar 4).

- **Dapur peleburan**, terbuat dari semen tahan panas yang dapat menahan temperatur panas hingga 1300°C dengan pemanas listrik menggunakan *filament* yang berbentuk spiral.
- **Pemanas alumina dan silikon karbida**, yang merupakan jenis pemanas listrik.
- **Cetakan**, berbentuk plat yang terbuat dari baja dengan dimensi rongga cetakan 250 mm x 150 mm x 22 mm. Cetakan ini dapat dibongkar pasang untuk memudahkan pada saat pengambilan benda cor.
- **Pemanas cetakan**, merupakan pemanas listrik menggunakan *filament* yang berbentuk spiral.
- **Penekan hidrolik**, adalah alat untuk menekan logam cair yang sudah dalam

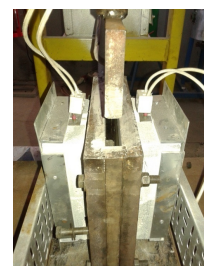
kondisi semi solid didalam cetakan yang bertujuan untuk membuang kandungan gas yang ada pada saat proses peleburan.



Dapur peleburan



Pemanas alumina dan silikon karbida



Cetakan plat yang dilengkapi dengan pemanas



Penekan hidrolik



Kompresor untuk pengaduk



Oksigen-Asetelin untuk pemanas saluran penuangan

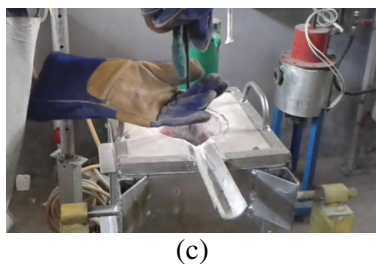
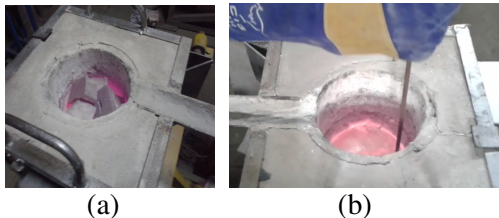
Gambar 4. Peralatan yang dibutuhkan dalam proses peleburan dan pengecoran

- **Kompresor pengaduk (*Stirr Casting*)**, pengaduk berfungsi untuk mengaduk material yang sudah berubah wujud menjadi cair pada saat proses peleburan agar material dapat tercampur secara menyeluruh.
- **Pemanas oksigen-asetelin**, berfungsi untuk memanaskan saluran masuk logam cair agar tidak terjadi pendinginan awal pada saat proses penuangan logam cair kedalam cetakan.

Proses Peleburan

Proses peleburan menggunakan dapur lebur tipe *crucible* dengan *filament* sebagai sumber panas untuk mencairkan logam

aluminium. Proses peleburan matrik aluminium dilakukan pada temperatur 850°C. Aluminium ingot dipotong menjadi potongan-potongan kecil untuk mempercepat waktu peleburan logam, selanjutnya dimasukan 3%Si, 6%Mg, dan 9%Zn kedalam dapur peleburan. Setelah aluminium mencair dilakukan proses *degassing* dengan argon sehingga kotoran yang mengendap pada cairan matriks aluminium timbul ke permukaan dan kotoran yang timbul ke permukaan tersebut dikeluarkan dengan menggunakan ladle (Gambar 5). Setelah itu dilakukan pencampuran bahan paduan magnesium, silikon, dan zeng.



Gambar 5 (a) Proses peleburan, (b) Proses *degassing* menggunakan argon
(c) Pembuangan kotoran.

Setelah bahan paduan mencair, selanjutnya dimasukkan alumina dan silikon karbida sebagai pengikat dan pelapis permukaan dari campuran bahan logam cair tersebut. Proses pencampuran alumina dan silikon karbida (Gambar 6) berfungsi sebagai penguat dari komposit matrik aluminium. Sebelum proses pencampuran, alumina dan silikon karbida terlebih dahulu dilakukan proses pemanasan dengan temperatur 1000°C kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 1 jam.

Bahan yang sudah dicampurkan kedalam tungku peleburan tersebut kemudian diaduk (*stirring*) dengan menggunakan poros pengaduk yang digerakkan menggunakan tenaga angin dari kompresor dan dapat menghasilkan putaran hingga 7500 Rpm

(Gambar 7). Pengadukan berfungsi agar bahan material cair dapat tercampur merata.



Gambar 6. Pencampuran bahan paduan dan penguat.



Gambar 7. Proses *stirring*.

Proses Pengecoran

Sebelum dilakukan proses pengecoran, terlebih dahulu dipanaskan saluran masuk penuangan menggunakan pemanas manual yaitu dengan *Burner Cutting Torch* dan pemanasan cetakan dengan *heater* yang di buat sebagai pemanas otomatis yang bertujuan agar logam cair tidak membeku pada saluran masuk dan tidak terjadi pendinginan awal pada saat logam cair masuk kedalam cetakan. Proses pemanasan cetakan ini dilakukan pada temperatur 300°C. Proses penuangan dilakukan secara perlahan untuk menghindari turbulensi aliran material coran di dalam cetakan (Gambar 8).



Gambar 8. Proses penuangan material coran.

Setelah material coran dituang ke dalam cetakan, selanjutnya diberikan tekanan menggunakan sistem hidrolik dengan kekuatan tekan sebesar 20 kg/cm² didalam cetakan (Gambar 9). Proses penekanan ini dilakukan

agar logam cair tersebut dapat mengisi penuh seluruh rongga cetakan, sehingga tidak ada rongga kosong serta untuk meminimalkan terjadinya cacat *void* dan porositas gas akibat proses peleburan. Pemberian tekanan ini dilakukan setelah cairan komposit berada pada kondisi *semi solid* sehingga memudahkan proses penekanannya. Penekanan ini dilakukan hingga logam mengalami *freezing* secara sempurna.



Gambar 9. Proses penekanan material coran.

Karakterisasi komposit matriks aluminium berpenguat alumina dan silikon karbida ini meliputi pengujian:

1. Pengujian kekerasan
2. Pengujian dampak
3. Pengujian struktur mikro

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell B menurut standar ASTM E18, dengan beban uji 100 kgf, dengan hasil seperti disajikan pada Tabel 1.

Pengujian Dampak

Pengujian dampak dilakukan dengan metode Impact Charpy sesuai standar ASTM E23 dengan beban 150 kg, dengan hasil seperti disajikan pada Tabel 2.

Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan sesuai standar ASTM E 407-99, dengan hasil seperti tersaji pada Tabel 3.

Hasil Pengujian Mekanik dan Struktur Mikro

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan

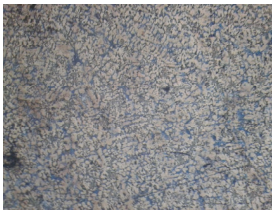
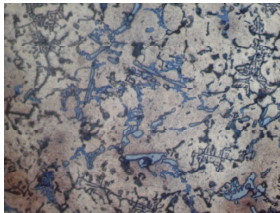

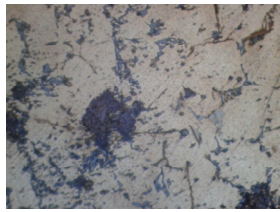
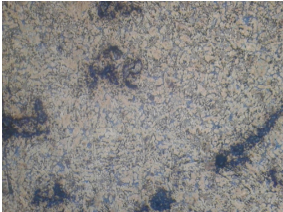
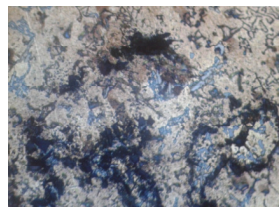
No.	Material Uji Komposit Matriks Aluminium	Nilai Kekerasan (HRB)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	Penguat alumina 10%	60	60	59.4	59.4	62.6	60.28
2	Penguat alumina 10% + SiC 5%	40	43	45	46	41	43
3	Penguat alumina 10% + SiC 10%	42	44	42	42	39	41.8

Tabel 2. Hasil pengujian dampak

No.	Material Uji Komposit Matriks Aluminium	Dimensi Benda Uji			Energi Dampak (J)	Harga Dampak (J/m ²)
		Lebar	Tinggi	Luas		
1	Penguat alumina 10%	10.07	7.78	78.34	3	0.0383
2	Penguat alumina 10% + SiC 5%	9.74	8.03	78.21	3	0.0383
3	Penguat alumina 10% + SiC 10%	9.85	7.95	78.30	5	0.0638

Tabel 3. Hasil pengamatan struktur mikro

No.	Material Uji Komposit Matriks Aluminium	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	
		Perbesaran 100 X	Perbesaran 500 X

1	Penguat alumina 10%		
2	Penguat alumina 10% + SiC 5%		
3	Penguat alumina 10% + SiC 10%		

Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian kekerasan terlihat bahwa komposit dengan penguat alumina tanpa silikon karbida memiliki kekerasan yang paling tinggi yaitu rata-rata sebesar 60,28 HRB. Untuk komposit alumina dengan penguat tambahan silikon karbida didapat nilai kekerasan yang lebih rendah yaitu 43 HRB untuk penambahan silikon karbida 5%, dan 41,8 HRB untuk penambahan silikon 10%.

Dari hasil pengujian impak, terlihat bahwa hasilnya hamper selaras dengan hasil pengujian kekerasan, yaitu harga impak berbanding terbalik dengan nilai kekerasan, semakin keras suatu material maka semakin rendah harga impaknya. Untuk benda uji komposit dengan penguat alumina tanpa silikon karbida didapat nilai harga impak sebesar 0.0383 J/mm², namun untuk benda uji dengan penguat tambahan silikon karbida 5% harga impaknya juga 0.0383 J/mm². Sedangkan untuk benda uji dengan penguat tambahan silikon karbida 10%, harga impaknya meningkat menjadi 0.0638 J/mm².

Hasil pengujian kekerasan dan pengujian impak ini tidak sesuai dengan yang diharapkan, dimana dengan penambahan penguat silikon karbida ini diharapkan terjadi peningkatan kekerasan pada komposit matriks aluminium berpenguat alumina. Hal ini kemungkinan besar disebabkan karena ketidaksempurnaan dalam proses peleburan

dan pengecoran, dimana partikel silikon karbida sangat sulit bercampur dengan aluminium dan alumina, sehingga partikel penguat SiC tidak tercampur secara merata.

Hasil pengujian struktural mikro untuk benda uji dengan penguat alumina saja (tanpa SiC) memperlihatkan struktur penguat alumina yang relatif merata. Sedangkan foto struktur mikro untuk benda uji dengan penambahan penguat SiC memperlihatkan partikel SiC tidak tersebar secara merata dan cenderung untuk mengumpul di satu tempat. Pengumpulan SiC ini semakin banyak terlihat pada fraksi SiC 10%.

Kemungkinan penyebab lain dari kurang konsistennya perubahan nilai kekerasan dengan penambahan penguat SiC ini adalah masih terdapatnya udara yang terperangkap di dalam material coran yang tidak sepenuhnya terbuang pada saat proses *degassing*. Dari foto struktur mikro juga terlihat masih banyaknya terdapat void atau cacat porositas, yang tentunya sangat mempengaruhi nilai sifat mekanis suatu material.

KESIMPULAN

Dari pengujian dan analisis pada komposit Al-3Si-9Zn-6Mg berpenguat 10 % fraksi volume Alumina ditambah dengan 5% dan 10% Silikon Karbida dapat disimpulkan bahwa:

1. Komposit dengan penguat alumina tanpa silikon karbida memiliki kekerasan yang paling tinggi yaitu rata-rata sebesar 60,28 HRB. Untuk komposit alumina dengan penguat tambahan silikon karbida didapat nilai kekerasan yang lebih rendah yaitu 43 HRB untuk penambahan silikon karbida 5%, dan 41,8 HRB untuk penambahan silikon 10%.
2. Komposit dengan penguat alumina tanpa silikon karbida didapat nilai harga impak sebesar 0.0383 J/mm^2 , namun dengan penambahan penguat silikon karbida 5% harga impaknya tetap 0.0383 J/mm^2 . Sedangkan untuk penguat tambahan silikon karbida 10%, harga impaknya meningkat menjadi 0.0638 J/mm^2 .
3. Tidak terjadinya peningkatan kekerasan material komposit alumina dengan penambahan penguat silikon karbida, kemungkinan besar disebabkan karena ketidaksempurnaan dalam proses peleburan dan pengecoran, dimana partikel silikon karbida sangat sulit bercampur dengan aluminium dan alumina, sehingga partikel penguat SiC tidak tercampur secara merata.
4. Dari analisa struktur mikro, untuk komposit dengan penambahan penguat SiC, memperlihatkan partikel SiC tidak tersebar secara merata dan cenderung untuk mengumpul di satu tempat. Pengumpulan SiC ini semakin banyak terlihat pada fraksi volume 10%SiC.
5. Tidak terjadinya peningkatan kekerasan dengan penambahan penguat silikon karbida ini juga dikarenakan timbulnya cacat porositas (*void*) akibat dari masih terdapatnya udara yang terperangkap di dalam material coran yang tidak sepenuhnya terbuang pada saat proses *degassing*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Fakultas Teknik Universitas Pancasila melalui program Hibah Penelitian Fakultas tahun 2015. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Ade Taufik untuk bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, *ASM Handbook, 21: Composites*. ASM International, The Materials Information Company, 1992.
- F.L. Matthews dan Rawlijns, R.D *Composite Material: Engineering & Science*. Chapman & Hall, London, 1994.
- T.R. Vijarayam, et.al., Fabrication of Fiber Reinforced Metal Matrix Composite by Squeeze Casting Technology. *Journal of Materials Processing Technology* 178, (2006), 34-38.
- H. Dieringa, Norbert Hort and Karl Ulrich Kainer, *Magnesium Based MMCs Reinforced with C-Fibers*, The Azo Journal of Materials Online, (September 2005).
- D. Rahmalina, Hendri.S, I.G.Eka Lesmana, A. Halim, *Effect of Solution Treatment on Hardness of Alumina Reinforced Al-9Zn Composite Produced by Squeeze Casting*, International Journal on Smart Material and Mechatronics, Vol. 1 (2014), pp. 25-35.
- D. Rahmalina, I. Kusuma, B. Suharno, B.T. Sofyan, E.S. Siradj, *Pengaruh Penambahan Unsur Cu dan Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting*, Prosiding Seminar Nasional SENAMM IV, 2010.
- B.T. Sofyan, S. Susanti, R. R. Yusfranto, *Peran 1 dan 9 w.t. % Zn dalam Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium AA319*, Makara Teknologi, 12 (1) (2008), pp. 48-54.
- N. Souissi, S. Souissi, C.L. Nivinen, M.B. Amar, C. Bradai, F. Elhalouani, *Optimization of Squeeze Casting Parameters for 2017 A Wrought Al Alloy using Taguchi Method*, Metals 4 (2014), pp 141-154.
- O. Beffort, S.Long, C. Cayron, J. Kuebler, P. Buffat, *Alloying Effects on Microstructure and Mechanical Properties of High Volume Fraction SiC-Particle Reinforced Al-MMCs Made by Squeeze Casting Infiltration*, Composite Science and Technology 67, (2007), pp. 737-745.
- D. Rahmalina, I. Kusuma, B. Suharno, B.T. Sofyan, E.S. Siradj, *Pengaruh*

- Penambahan Unsur Cu dan Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting*, Prosiding Seminar Nasional SENAMM IV, 2010.
- B.T. Sofyan, S. Susanti, R. R. Yusfranto, *Peran 1 dan 9 w.t. % Zn dalam Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium AA319*, Makara Teknologi, 12 (1) (2008), pp. 48-54.
- D. Rahmalina, B. T. Sofyan, N. Askarningsih, S. Rizkyardiani, *Effect of Treatment Process on Hardness of Al7Si-Mg-Zn Matrix Composite Reinforced with Silikon karbida Particulate*, Proceeding of the 2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science (ICAMMS 2012), Beijing, China, 20-21 Desember 2012.
- M. Cohen, *Laminated Armor*, US Patent No. 6497966, 6 Dec 2001.
- E. di Russo, M. Burrati, S. Veronelli, *Aluminium Alloys Composite Plates*, US Patent No. 4426429, 8 Dec 1981.
- A.P. Newbery, S.R. Nutt, E.J. Lavernia, *Multi-scale Al 5083 for military vehicles with improved performance*, J. Mat (2006), pp. 56 – 61.
- T. Borvik, M.J. Forrestal, T.L Warren, *Perforation of 5083-H116 Aluminum Armor Plates with Ogive-Nose Rods and 7.62 mm APM2 Bullets*, Society for Experimental Mechanics, 50 (7)(2009), pp. 969-978.
- M. Ubeyli, R.O. Yildirim, B. Ogel, *Investigation on the ballistic behavior of Al₂O₃/Al2024 laminated composites*, J. Mat. Proc. Tech, 196 (1-3) (2008), pp. 356 – 364.
- Z. Zuoguang, W. Mingchao, S. Shuncheng, L. Min, S. Zhijie, *Influence of Panel/back Thickness on Impact Damage Behavior of Alumin/Aluminum Armors*, J. European Ceramic Society, 30 (4) (2010), pp 875-887.
- B.R.Sorensen, K.D. Kimsey, B.M.Love, *High-Velocity Impact of Low-Density Projectiles on Structural Aluminium Armor*, Int. J. Impact Eng. 35 (12) (2008), pp. 1808-1815.
- D. Rahmalina, B.T. Sofyan, B. Suharno, E.S. Siradj, *Development of Steel Wire Rope – Reinforced Aluminium Composite for Armour Material Using The Squeeze Casting Process*, Advanced Materials Research Journal, Vol. 277 (2011), pp. 27-35.
- D. Rahmalina, B.T. Sofyan, B. Suharno, E.S. Siradj, *Pengaruh Fraksi Volume Penguat Silikon Karbida terhadap Karakteristik Balistik Komposit Matriks Aluminium*, Majalah Pengkajian Industri, Vol. 6 No. 1, April 2012.